

Markus Hämäläinen


KAMPUSRAKENNUSTEN ILMANKÄSITTELYKONEIDEN OMINAISSÄHKÖTEHO

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2016



KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 23.5.2016
Tekijä(t) Markus Hämäläinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Kampusrakennusten ilmapöytäkoneiden ominaispöytäkone	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli tutkia Mikkelin ammattikorkeakoulun Kasarmin kampuksella sijaitsevien kahden opetusrakennuksen ilmapöytäkoneiden ominaispöytäkone Schneider Electricin hallinnoiman eValvomon avulla, johon kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmät on liitetty. Tarkasteltavia kohdekoneita on yhteensä kuusi kappaletta.</p> <p>Tavoitteena oli selvittää, miten ilmapöytäkoneiden puhaltimien tuottamat ilmavirrat vaihtelevat rakennusten käyttöaikana muuttuvailmavirtajärjestelmissä ja miten tämä heijastuu koneiden/puhaltimien SFP-lukuihin. Tutkimusmenetelmänä käytettiin trendiseurantaa. Ohessa tarkasteltiin myös rakennusautomaatiojärjestelmän luotettavuutta.</p> <p>Tuloksena kolmen ilmapöytäkoneen ominaispöytäkonea pystyttiin analysoimaan luotettavasti ja havainnollistamaan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tuomia hyötyjä. Kolmen muun koneen kohdalla ei luotettavia arvioita pystytty tekemään johtuen rakennusautomaatiojärjestelmän mittausten virheellisyydestä.</p>	
Asiasanat (avainsanat) Ominaispöytäkone, tarpeenmukainen ilmanvaihto, painehäviö, ilmapöytäkone	
Sivumäärä 34	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Marianna Luoma	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin ammattikorkeakoulu

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 23.5.2016
Author(s) Markus Hämäläinen	Degree programme and option Building Services Engineering
Name of the bachelor's thesis Specific Fan Power of air handling units in campus buildings	
Abstract <p>The subject of this bachelor's thesis was to research Specific Fan Power of six air handling units by server called eValvomo. The building automation systems of two examined teaching facilities are connected to this server. Building automation system is managed by Schneider Electric and the facilities are located at campus area in Mikkeli University of Applied Sciences.</p> <p>The goal was to sort out how air flows produced by fans of air handling units vary during occupancy of buildings and how this can be seen in Specific Fan Power of AHU's and fans. The studied air-conditioning systems are variable air volume (VAV) - systems. Investigation method was trend monitoring. The inspection of reliability of building automation system was made.</p> <p>As a result of the thesis the advantages of demand controlled ventilation (DCV) were shown but only three of six investigated AHU's gave reliable information that could be analyzed. Evaluations of other three AHU's couldn't be made because of the inaccuracy of measurements in building automation system.</p>	
Subject headings, (keywords) Specific Fan Power, demand controlled ventilation, pressure drop, air handling unit	
Pages 34	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Marianna Luoma	Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO.....	1
2.1	Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmän erot.....	2
2.2	VAV-järjestelmä.....	3
3	OMINAISSÄHKÖTEHO	3
3.1	Viranomaismääräykset	4
3.2	Laskenta.....	5
3.2.1	SFP-luku koko ilmanvaihtojärjestelmälle.....	5
3.2.2	SFP-luku yksittäiselle ilmankäsittelykoneelle	6
3.2.3	SFP-luku yksittäiselle puhaltimelle	6
3.2.4	SFP-luku muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä	6
3.3	SFP-lukuun vaikuttavat tekijät	7
3.4	Puhaltimien sähköverkosta ottaman tehon mittaust.....	9
4	MENETELMÄT	9
4.1	Kohteen tiedot.....	9
4.1.1	Koneet ja puhaltimet.....	10
4.1.2	Rakennusautomaatiojärjestelmän ominaissähköteho.....	11
4.1.3	Huonesäädöt.....	12
4.2	Trendiseurantajakso.....	13
4.3	Aineiston käsittely	14
5	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	15
5.1	D-rakennus.....	15
5.1.1	Ilmankäsittelykone TK41/PK41	15
5.1.2	Ilmankäsittelykone TK42/PK42	17
5.1.3	Ilmankäsittelykone TK43/PK43	19
5.1.4	Ilmankäsittelykone TK44/PK44	21
5.2	X-rakennus.....	23
5.2.1	Ilmankäsittelykone TK45.....	23
5.2.2	Ilmankäsittelykone TK46/PK46	24
5.3	Yhteenveto tuloksista ja suunniteltuihin arvoihin vertailu	26
5.4	Aineiston luotettavuus	29

6 POHDINTA	32
LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Työn aiheena on Mikkelin ammattikorkeakoulun kasarmin kampuksella sijaitsevien koulurakennusten ilmanvaihtokoneiden puhaltimien SFP-lukujen tutkiminen eValvomon avulla, johon kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmät on liitetty. Rakennusautomaatiosta vastaa Schneider Electric. Tutkittavia rakennuksia on kaksi kappaletta, päärakennus D sekä sen yhteydessä sijaitseva kiinteistö X. D-rakennuksessa on ilmanvaihtokoneita yhteensä 4 kappaletta, X-rakennuksessa IV-koneita on kaksi. Tutkittavat IV-järjestelmät on valittu valvomon grafiikkakuvista saatavien tietojen perusteella.

SFP-lukujen ja muiden tarkasteltavien suureiden muutoksia on tarkoitus tutkia trendiseurannan avulla. Ennen kaikkea SFP-lukujen muutos kiinnostaa niitä tiloja palvelevissa IV-koneissa, joissa ilmanvaihto on toteutettu tarpeenmukaisesti. Miten paljon ilmavirtojen muutokset vaikuttavat ominaissähkötehoon ja vaihtelevatko ilmavirrat ylipäättään kuinka suuresti käyttöaikana? Yksi työn tavoitteista on verrata rakennusautomaation kautta saatuja SFP-lukuja konekohtaisiin suunniteltuihin SFP-lukuihin. Viranomaismääräykset Suomessa antavat raja-arvon koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää koskien, mutta johtuen esimerkiksi erillispoistojen määrästä rajataan tarkastelu koskemaan vain yksittäisiä ilmankäsittelykoneita. Rakennusautomaation antamat arvot ja niiden luotettavuus on myös yksi tarkasteltavista asioista.

2 TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO

Tarpeenmukainen ilmanvaihto perustuu kahteen olennaiseen asiaan, sisäilmastolosuhteiden kohentamiseen sekä energiansäästöön. Säättämällä ilmanvaihtoa tarpeen mukaan pienennetään puhaltimen kuluttamaa sähköenergiaa sekä ilmanvaihdon lämmitykseen tai jäähdytykseen kuluttamaa energiaa. Koulurakennuksissa henkilökuormitus ja vaihtelee erityisesti luokka- sekä neuvottelutiloissa, joten näihin tiloihin olisi tarpeenmukainen säätö oleellista järjestää tilojen käyttöasteet huomioiden. [1, s. 136.]

Tarpeenmukaisen säädön voi toteuttaa tilakohtaisesti, eli säätimellä ohjataan vain yhden huonetilan kuten luokkahuoneen ilmavirtoja ja samalla lämpöolosuhteita. Toinen

vaihtoehto on vyöhyke- eli huoneryhmäkohtainen toteutus, jossa säädön takana on useampi tila. Vyöhykekohtainen säätö on vartenotettava vaihtoehto, mikäli tilojen sisäiset lämpökuormat ovat pieniä ja muuten lämpökuorma tulee pääasiassa auringosta. Molemmissa tapauksissa ilmavirtoja ohjataan huonelämpötilan, hiilidioksidipitoisuuden tai läsnäolotiedon perusteella. Ohjaustapoja on myös mahdollista yhdistää. Läsnaoloperusteinen ohjaus tapahtuu manuaalisesti, aikaohjelman perusteella tai liiketunnistimen avulla. [1, s. 126-133.]

2.1 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmän erot

Ilmanvaihtojärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, joka on mitoitettu sisäilman laatu- tavoitteiden mukaisesti ja jonka ilmavirran mitoitus perustuu kyseisiin tavoitteisiin. Ilmastointijärjestelmän tuloilmavirran mitoitus puolestaan on toteutettu jäähdytyskuorman perusteella ja lisäksi huonetilojen jäähdytys on voitu toteuttaa erillisillä huonelaitteilla. Kuitenkin sekä ilmanvaihto- että ilmastointijärjestelmää voidaan säätää tarpeenmukaisesti. [1, s. 113.]

Asuinrakennuksista puhuttaessa käytetään usein ilmanvaihtojärjestelmä-termiä mutta yhä enenevässä määrin myös asuinrakennuksiin on tulossa ilmastointijärjestelmiä, joten jatkossa termien kanssa pitää olla entistä tarkempana. Ilmanvaihtojärjestelmien jaottelu on tehty painovoimaisesta ilmanvaihdosta koneelliseen ilmanvaihtoon, joka käsittää koneellisen poistoilmanvaihdon sekä koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon. [1, s. 113 - 121.]. Ilmastointijärjestelmät puolestaan on jaoteltu seuraavasti [1, s. 129.]:

- Ilmajärjestelmät
 - o Vakioilmavirtajärjestelmä
 - o Muuttuvailmavirtajärjestelmä
- Ilma-vesijärjestelmät
 - o Puhallinkonvektorijärjestelmä
 - o Suutinkonvektorijärjestelmä
 - o Jäähdytyspalkkijärjestelmä
 - o Jäähdytyspaneelijärjestelmä
 - o Jäähdytyskatto- ja jäähdytyslattiajärjestelmät
- Vesijärjestelmät

- Puhallinkonvektorijärjestelmä
- Muut puhallinpatterijäähdytysjärjestelmät
- Hajautetut järjestelmät
 - Huonekohtaiset jäähdytyslaitteet
 - Huoneistokohtaiset jäähdytyslaitteet
 - Ilmalämpöpumput

2.2 VAV-järjestelmä

VAV-järjestelmää (Variable Air Volume System) kutsutaan Suomessa termeillä MIV- (muuttuvailmavirta), IVS- (ilmavirtasäätöinen) ja IMS- (ilmamääräsäätöinen) järjestelmä. Kyseessä on korkeatasoinen, huonekohtainen ilmastointijärjestelmä. Ilmankäsittelykone kyseisessä järjestelmässä sisältää suodatuksen, lämmön talteenoton sekä lämmitys- ja jäähdytystoiminnot. Huonelämpötilan hallinta järjestelmässä tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla eli kun ilmavirtaa kasvatetaan niin huoneeseen tuleva jäähdytysteho kasvaa. VAV- järjestelmä soveltuu erityisesti tiloihin joissa on tarvetta suurille ilmavirroille kuten kokous- tai neuvottelutiloihin. [1, s. 133-134.]

VAV-järjestelmässä ilmankäsittelykoneen ilmavirran säätöalueen suuruus täytyy määrittellä tilojen käyttöaikojen ja kuormituksen mukaan. Jos työajan ulkopuolella ei ole tiloilla käyttöä, riittää säätöalueeksi 50 – 100 %, muutoin säädön on oltava 15 – 30 % maksimista. Säätö perustuu painesäätimen staattisen paineen ylläpitoon kanavassa suhteessa rakennuksessa vallitsevaan paineeseen. Puhallinsäätö toteutetaan taajuusmuuttajalla. [2, s. 61-62.]

3 OMINAISSÄHKÖTEHO

Ominais sähköteho eli SFP muodostuu sanoista Specific Fan Power, ja se kuvaa koko ilmanvaihtojärjestelmän, ilmankäsittely-/ilmanvaihtokoneen tai yksittäisen puhaltimen sähkötehokkuutta. SFP-luku siis vastaa kysymykseen, kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan yhden ilmakeuution siirtämiseen sekunnissa. Viranomaismääräysten mukaisella suunnittelulla, laitevalinnoilla ja toteutuksella vaikutetaan rakennuksen ilmanvaihto-

järjestelmän energian tarpeeseen, jossa sähkönkulutus näyttelee merkittävää roolia. SFP-luvun yksikkö on $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. [3, s. 4 - 7.]

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmää suunniteltaessa mahdollisimman pienen sähkötehokkuuden tavoittelu ei ole itse pääasia, vaan on muistettava millaiseen sisäilmaan ilmanvaihdolla pyritään. Sähkötehokkuuden ohella suunnittelua ohjaavia elementtejä ovatkin esimerkiksi haluttu sisälämpötila, ilmavirrat sekä suodatusaste, jotka kaikki määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. [3, s. 4.]

”Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholla ($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$) tarkoitetaan rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien, mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaetuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla (suurempi näistä)” Määriteltäessä koko rakennuksen SFP-lukua otetaan laskennassa huomioon myös yksittäisestä ilmanvaihtokoneesta erillään operoivat erillispuhaltimet, jotka sähkönkulutuksen myötä kasvattavat SFP-lukua [4, s. 4; 5, s. 180.]

3.1 Viranomaismääräykset

Vuonna 2003 julkaistussa Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ominaissähköteho koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä sai olla enintään $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneellisessa poistoilmajärjestelmässä $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ [6, s. 17].

Vuonna 2012 voimaan tullessa Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 annetaan nykyiset vaatimukset koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän sekä koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteholle. Koneelliselle tulo- ja poistoilmajärjestelmälle maksimiarvo on $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneelliselle poistoilmajärjestelmälle $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Huomionarvoinen asia on, että D3 antaa enimmäisarvon ominaissähköteholle nimenomaan koskien koko ilmanvaihtojärjestelmää, joten yksittäisen koneen tai puhaltimen osalta voidaan poiketa arvosta $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Myös koko koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän osalta D3:n määräyksestä voidaan poiketa taulukon 1 mukaisissa poikkeustapauksissa. [4, s. 15; 7, s. 4.]

TAULUKKO 1. Sallittu SFP- luvun ylitys tietyille ilmankäsittelykomponenteille standardin SFS-EN 13779 mukaan [7, s. 4]

Komponentti	Sallittu ylitys, kW/(m ³ /s)
Mekaaninen lisäsuodatusosa	+ 0,3
HEPA-suodatin	+ 1,0
Kaasusuodatin	+ 0,3
Korkean (yli 70%) hyötysuhteen LTO-osa	+ 0,3
Suurtehojäähdytin	+ 0,3

Suomen lisäksi useat maat ovat asettaneet omat vaatimuksensa tai suosituksensa SFP-lukujen maksimiarvolle, jotka tyypillisesti vaihtelevat välillä 1–3 kW/(m³/s). Standardi SFS-EN 13779:2007 antaa yksittäisen puhaltimen SFP-luvulle luokituksen sen suuruuden mukaan. Taulukkoa 2 voidaan käyttää esimerkiksi apuna suunnitteluvaiheessa sen mukaan mihin kategoriaan pyritään ominaissähkötehon osalta. Standardi on jaoteltu seitsemään luokkaan. [8, s. 29.]

TAULUKKO 2. Standardin SFS-EN 13779 mukainen luokitteluasteikko yksittäisen puhaltimen SFP-luvulle [8, s. 29]

Kategoria	Ominaissähköteho, kW/(m ³ /s)
SFP 1	< 0,5
SFP 2	0,5 – 0,75
SFP 3	0,75 – 1,25
SFP 4	1,25 – 2,0
SFP 5	2,0 – 3,0
SFP 6	3,0 – 4,5
SFP 7	> 4,5

3.2 Laskenta

3.2.1 SFP-luku koko ilmanvaihtojärjestelmälle

Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voidaan laskea kaavalla 1 [7].

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{v,max}} \quad (1)$$

jossa SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

$P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO- pumppujen ja – moottorien ottama sähköteho, kW

$q_{v,max}$ on mitoittava jäteilma- tai ulkoilmavirta, m³/s

3.2.2 SFP-luku yksittäiselle ilmankäsittelykoneelle

Yksittäisen ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho voidaan laskea kaavalla 2 [7].

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{v,max}} \quad (2)$$

jossa SFP on ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

$P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO- pumppujen ja – moottorien ottama sähköteho, kW

$q_{v,max}$ on koneen tulo- tai poistoilmavirta (suurempi näistä), m³/s

3.2.3 SFP-luku yksittäiselle puhaltimelle

Yksittäisen puhaltimen ominaissähköteho voidaan laskea kaavalla 3 [7]

$$SFP = \frac{P_{puhallin} + P_{apulaitteet}}{q_v} \quad (3)$$

jossa SFP on puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

$P_{puhallin}$ on puhaltimen ottama sähköteho, kW

$P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden ottama sähköteho, kW

q_v on puhaltimen ilmavirta, m³/s

3.2.4 SFP-luku muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä

Muuttuvailmavirtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä SFP-luku määritellään mitoittavalla ilmavirralla huolimatta siitä, miten tilojen ilmavirtoja säädellään käyttöaikojen mu-

kaan. Mitattaessa muuttuvailmavirtaisen järjestelmän ominaissähkötehoa ajetaan il-mavirtasäätimet säädettyihin maksimiasentoihinsa, kytketään puhaltimen paineohjaus pois päältä ja asetetaan taajuusmuuttajalle kiinteä taajuusohjaus riittävällä pyörimis-nopeudella jotta mitoittava kokonaisilmavirta saavutetaan. [7, s. 3; 3, s. 21.] Muuttu-vailmavirtaisessa kanavistossa suositellaan kokonaispainehäviön olevan korkeintaan 300 Pa suurimmalla ilmavirralla [3, s. 16].

3.3 SFP-lukuun vaikuttavat tekijät

Puhaltimien sähkönkulutukseen vaikuttavat kaikki ilmanvaihtojärjestelmään liitetyt komponentit. Yksittäistä ilmankäsittelykonetta tarkastellessa tulopuhaltimen painehä-viö muodostuu ulkosäleiköstä, tuloilmanavistosta koneen imu- ja painepuolella, päätelaitteista sekä itse koneesta ja sen osista. Poistopuhaltimen painehäviö koostuu poistoilmanavistosta koneen imu- ja painepuolella, päätelaitteista sekä koneesta ja sen osista. Näistä yhdessä muodostuu järjestelmän kokonaispainehäviö. [3, s. 8.]

Nykypäivänä ilmankäsittelykonetta suunniteltaessa tulisi pyrkiä mahdollisimman pie-neen painehäviölukemaan koneen osalta, mieluiten 250 Pa tai sen alle. Ilmankäsittely-koneen komponenttien mahdollisimman pienillä painehäviöillä tämä on mahdollista 1,5 m/s otsapintanopeudella. Otsapintanopeus ja painehäviöt suunnitelmissa esittämäl-lä esitetään urakoitsijaa tarjoamasta ja asentamasta halpaa konetta suurella paineenko-rotuksella ja energiankulutuksella. Taulukossa 3 on esitetty ilmastointijärjestelmissä esiintyvien eri komponenttien painehäviöarvoja suurissa rakennuksissa. [8, s. 17.]

TAULUKKO 3. Ilmastointijärjestelmien komponenttien painehäviöarvoja suu-rissa rakennuksissa [8, s. 17]

	Huono	Tyypillinen	Hyvä	
Otsapintanopeus	2,5	2,0	1,5	m/s
F3-luokan suodatin	80	70	50	Pa
F5-luokan suodatin	140	115	75	Pa
F9-luokan suodatin	190-250	160	110	Pa
Pyörivä LTO	200-250	150	90-100	Pa
Lämmityspatteri	120	80	40	Pa
Jäähdytyspatteri	140	100	60	Pa
Kostutin	60	40	20	Pa
Äänenvaimennin	80-235	50	30	Pa
IV-koneen sisäinen painehäviö	670	420	250	Pa

Kanavisto (tulo tai poisto)	300-490	200-230	100-115	Pa
Kanavavaimennin	15	10	0	Pa
Ilmamääräsäädin	115	112	25	Pa
Lisälämmityspatteri	105	50	25	Pa
Kammio	100	50	30	Pa
Päätelaite (tulo tai poisto)	70	50	20	Pa
Jäteilma	175	175	175	Pa
Puhaltimen hyötysuhde	40	50	63	%
SFP - luku	6	3	1,3	kW/(m ³ /s)

Suuremmilla ilmavirroilla saavutetaan puhaltimien osalta korkeampi kokonaishyötysuhde kuin pienillä ilmavirroilla. Pyrittäessä ominaissähkötehon osalta arvoon 2,0 kW/(m³/s) yli 2 m³/s ilmavirroilla on puhaltimen kokonaispaineenkorotuksen oltava noin 600 Pa. Hyvällä kanaviston suunnittelulla voi vaikuttaa koneen osille käytettävissä olevaan painehäviöön. Tätä on havainnointi taulukossa 4. [5, s. 181.]

TAULUKKO 4. SFP-luvun tavoitearvolle 2,0 kW/(m³/s) käytettävissä olevan kokonaispaineenkorotuksen jaottelu yli 2 m³/s koneissa [5, s. 181]

SFP-luvun tavoitearvo, kW/(m ³ /s)	Puhaltimen kokonaishyötysuhde, %	Puhaltimen kokonaispaineenkorotus, Pa	Kanaviston painehäviö, Pa	Koneen osille käytettävissä oleva painehäviö, Pa
2,0	60	600	400	200
2,0	60	600	300	300
2,0	60	600	250	350
2,0	60	600	200	400

Mikäli kokonaishyötysuhdetta ei voida nostaa pyrittäessä SFP-luvun osalta matalampaan tavoitearvoon, kuten 1,5 kW/(m³/s), täytyy puhaltimien kokonaispainehäviötä pienentää, jolloin hyvä kanavamitoitus nousee entistä tärkeämpään rooliin. Taulukossa 5 on kuvattu mitä tämä kokonaispaineenkorotuksen osalta tarkoittaa. [5, s. 181.]

TAULUKKO 5. SFP-luvun tavoitearvolle 1,5 kW/(m³/s) käytettävissä olevan kokonaispaineenkorotuksen jaottelu yli 2 m³/s koneissa [5, s. 181]

SFP-luvun tavoitearvo, kW/(m ³ /s)	Puhaltimen kokonaishyötysuhde, %	Puhaltimen kokonaispaineenkorotus, Pa	Kanaviston painehäviö, Pa	Koneen osille käytettävissä oleva painehäviö, Pa
1,5	60	450	300	150
1,5	60	450	250	200
1,5	60	450	200	250
1,5	60	450	150	300

3.4 Puhaltimien sähköverkosta ottaman tehon mittausta

Ominais sähkötehon selvittämiseksi ilmapuhaltimien koneesta tarvitaan puhallinkohtaisesti mitattu ilmavirta sekä molempien puhaltimien sähköverkosta ottama teho. Mittaus on aina suoritettava taajuusmuuttajan tulopuolelta. Mittalaitteen pitää olla sellainen joka mittaa ja näyttää verkosta otetun sähkötehon lisäksi sekä virran että jännitteen. Mittarin mittaustavan pitää olla niin kutsuttu true-RMS jotta se osaa ottaa huomioon taajuusmuuttajan aiheuttamat poikkeamat sähkövirran siniaaltoon. [3, s. 21-23.]

Virrat ja jännitteet täytyy mitata kaikista kolmesta vaiheesta, jotta mittari pystyy laskemaan jännitteen ja virran välisen vaihekulman $\cos \varphi$ arvon sekä näyttämään pätötehon eli piirin todellisen työtä tekevän tehon koko puhallinmoottorille. [3, s. 23.]

Kolmivaiheiselle sähköteholle pätee siis kaavan 4 mukainen yhtälö [9, s. 42].

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad (4)$$

jossa P = järjestelmän verkosta ottama sähköteho, kW
 U = pääjännite (3-vaihejärjestelmissä yleensä 400V), V
 I = vaihevirta, A
 $\cos \varphi$ = tehokerroin

4 MENETELMÄT

4.1 Kohteen tiedot

Työssä tutkittaviksi kohteiksi valikoitui kaksi Mikkelin ammattikorkeakoulun kasarmien kampuksella sijaitsevaa koulurakennusta, päärakennus D sekä X-rakennus ja näiden tiloja palvelevat ilmapuhaltimien koneet. D-rakennuksen opiskelijat koostuvat lähinnä liiketalouden ja terveystieteiden parista ja kiinteistön tiloista löytyy myös ravintola Dexi sekä liikuntasali. X-rakennus on tarkoitettu sosionomi- ja yhteisöpedagogikoulutuk-

selle, tiloissa sijaitsee myös opintotoimisto. Taulukosta 6 ilmenee rakennuksia palvelevat ilmankäsittelykoneet, sekä tilat joita varten koneet on suunniteltu työskentelemään.

TAULUKKO 6. Tutkittavat kohteet

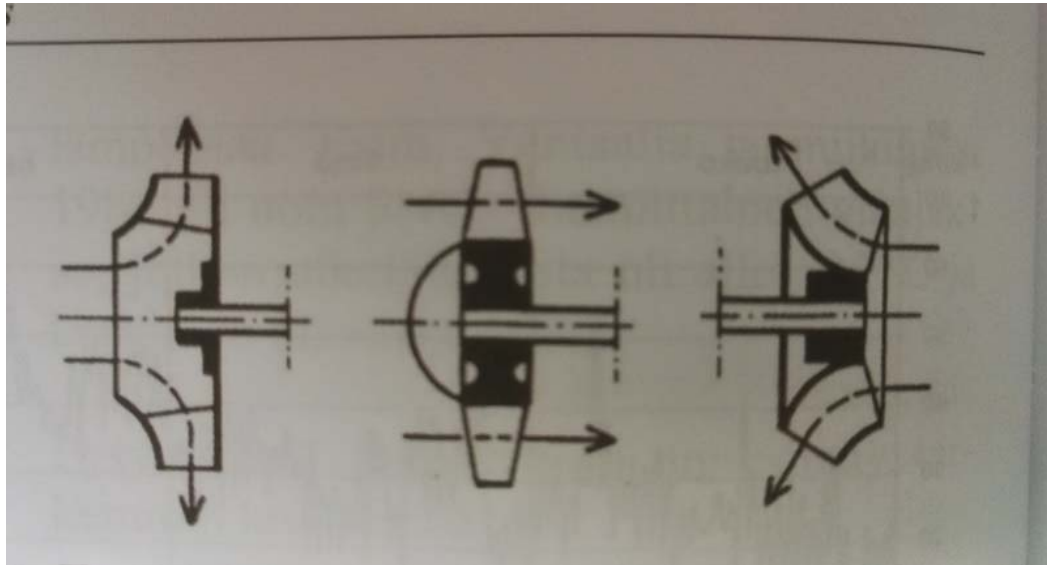
Rakennus:	Positio:	Palveltavat tilat:
D	TK41/PK41	Liikuntasali
D	TK42/PK42	1. ja 2.kerroksen luokat
D	TK43/PK43	3. kerros (pohjoisen luokat) ja käytävä
D	TK44/PK44	Etelän työhuoneet ja ravintola
X	TK45	Keittiö
X	TK46/PK46	1-3. kerroksen toimistot ja luokat

Kohteen IV-suunnittelu on tehty vuosina 2009 ja 2010, jonka jälkeen vanhat koneet on uusittu nykyisillä. Suunnittelu on siis toteutettu vuoden 2003 D2:n määräyksen mukaisesti ominaissähkötehon raja-arvon koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä ollessa 2,5 kW/(m³/s).

4.1.1 Koneet ja puhaltimet

Kaikki tutkittavat koneet ovat Kojan Future-ilmankäsittelykoneita. TK45:ta lukuun ottamatta kaikkien koneiden poistoilman lämmön talteenotto on toteutettu regeneratiivisella, pyörivällä lämmönsiirtimellä. Lämmönsiirrintoiminto on lisäksi varustettu puhtaaksipuhallussektorilla, joka ehkäisee poistoilman siirtymistä tulopuolelle [10, s. 20]. TK45:n, eli ravintola Dexin keittiötä palvelevan koneen lämmön talteenotto poistoilmasta on toteutettu nestekiertoisena.

Kaikkien koneiden puhaltimet ovat tyypiltään FFTS-sekavirtauspuhaltimia eli puoliaksiaalipuhaltimia [11, s. 40]. Puhallinmoottorit ovat 3-vaiheisia oikosulkumoottoreita. Radiaalipuhaltimessa ilma puhalletaan siipipyörän akselin vastaisesti mutta ilma puhaltimeen tulee akselin suuntaisesti. Aksiaalipuhaltimessa ilma virtaa imupuolelta painepuolelle akselin suuntaisesti. Sekavirtauspuhaltimessa puolestaan ilma lähtee siipipyörästä vinosti akseliinsa nähden, eli se on välimalli radiaali- ja aksiaalipuhaltimesta. Kuvassa 1 on havainnollistettu puhallintyyppien eroja. [5, s. 148.]



KUVA 1. Radiaali-, aksiaali- ja puoliaksaalipuhaltimen virtaussuunnat [5, s. 148]

Kohteen puhaltimet ovat lisäksi taajuusmuuttajasäädöllä varustettuja kammio- ja keskipakoispuhaltimia, joiden siivet ovat taaksepäin kaartuvat. Puhaltimen siipipyörä on kiinnitetty suoraan moottorin akselille. Ne toimivat korkealla noin 75 %:n hyötysuhteella. Maksimipaineenkorotus kyseisillä puhaltimilla on 2500 Pa. [11, s. 66 - 67.] Rakennusautomaatiojärjestelmän esittämää puhaltimen referenssipaine-eroa ei saa sekoittaa puhaltimien tuottamaan kokonaispaineenkorotukseen.

4.1.2 Rakennusautomaatiojärjestelmän ominaissähköteho

Kammiopuhaltimiin on nykypäivänä mahdollista asentaa tarkasti toimiva ilmavirran mittauslaite, joka koostuu puhaltimen imukartion kaulalle asennetuista paineenmittausnipoista sekä referenssipaineen mittauksesta ennen puhallinta olevasta imukammioista. Mittausmenetelmän virhe on vain 4 - 5 %, eikä se aiheuta lainkaan painehäviötä. [5, s. 189.]

Kohteen puhaltimien mittausyhteisiin on asennettu 0-5000 Pa alueella toimivat paine-erolähettimet, josta lähtee sähköinen virta- tai jänniteviesti alakeskusten kautta valvomoon. Kuvassa 2 näkyy TK44-tulopuhaltimen mittausyhteisiin asennettu paikallisella näytöllä varustettu paine-erolähetin.



KUVA 2. TK44:n puhaltimen paine-erolähetin

eValvomosta näkyvät puhaltimien tuottamat ilmamäärät ovat järjestelmän laskemia arvoja. Valvomon TAC Vista- palvelimelle on Schneider Electric määrittänyt valmistajan kone- ja puhallinkokojen mukaan määrittyvät k-kertoimet sekä tulo- että poistoilmapuhaltimelle. Järjestelmän laskemat ilmavirrat määrittyvät noiden kertoimien sekä puhaltimiin asennetun paine-eromittauksen perusteella kaavan 5 mukaan.

$$q_v = k * \sqrt{dp} \quad (5)$$

jossa q_v = puhaltimen tuottama tulo- tai poistoilmavirta, m³/s
 k = puhaltimen koon mukaan määrittyvä k-kerroin
 dp = referenssipaine-ero, Pa

Tämän puhaltimen referenssipaine-eroon perustuvan ilmavirtamittauslaskennan ja puhaltimien verkosta ottaman sähkötehon perusteella rakennusautomaatiojärjestelmä laskee ilmankäsittelykoneen hetkellisen SFP-luvun.

4.1.3 Huonesäädöt

D- ja X-rakennuksen luokkien tarpeenmukainen ilmanvaihto ja lämmitys on toteutettu säätimien avulla. Hiilidioksidipitoisuuden noustessa ilmamäärää lisätään IMS-peltien avulla niin että päästään alle luokkakohtaisesti asetettujen raja-arvojen. Tilojen käyt-

töaikana huonelämpötilat pidetään halutuissa asetusarvoissaan (esim. 21 °C) ja käyttöajan ulkopuolella (esim. 19 °C) lämmityspatterien venttiileitä säätämällä. Aktiiviajat huoneille on määritelty joko valvomon aikaohjelmien mukaisesti tai läsnäolotunnistimilla luokkien käyttötarkoituksen mukaisesti.

Toimistojen tarpeenmukainen ilmanvaihto sekä lämmitys D-rakennuksessa on toteutettu säätimillä. Säätimet ohjataan aktiivikäyttötilaan aikaohjelmilla tai läsnäolotunnistimilla jolloin myös valaistus saa käyttöluvan, ilmanvaihto tehostetaan ilmamäärien osalta maksimiin ja lämmitys säädetään aktiivikäytölle (esim. 21 °C). Muutoin säädin on valmiustilassa, valaistus sammuneena, ilmamäärät minimissään ja lämmitys valmiusasetusarvossa (esim. 19 °C). Toimistonkäyttäjällä on mahdollisuus muuttaa lämpötila-asetusta ± 3 °C huoneyksiköllä.

X-rakennuksen työhuoneiden/toimistojen tarpeenmukainen ilmanvaihto on toteutettu säätimellä. Aikaohjelmalla tai läsnäolotunnistimella huoneet ohjataan aktiivikäyttötilaan, jolloin ilmanvaihto tehostuu maksimi-ilmamäärään ja lämmitys/jäähdytys säätyy aktiivikäytön mukaiseksi (esim. 21 °C). Muutoin säädin on valmiustilassa, ilmanvaihto minimissä, lämmitys valmiusasetusarvossa ja jäähdytysventtiilit suljettuina. Huoneyksiköllä voi toimistotilan lämpötila-asetusta muuttaa ± 3 °C.

4.2 Trendiseurantajakso

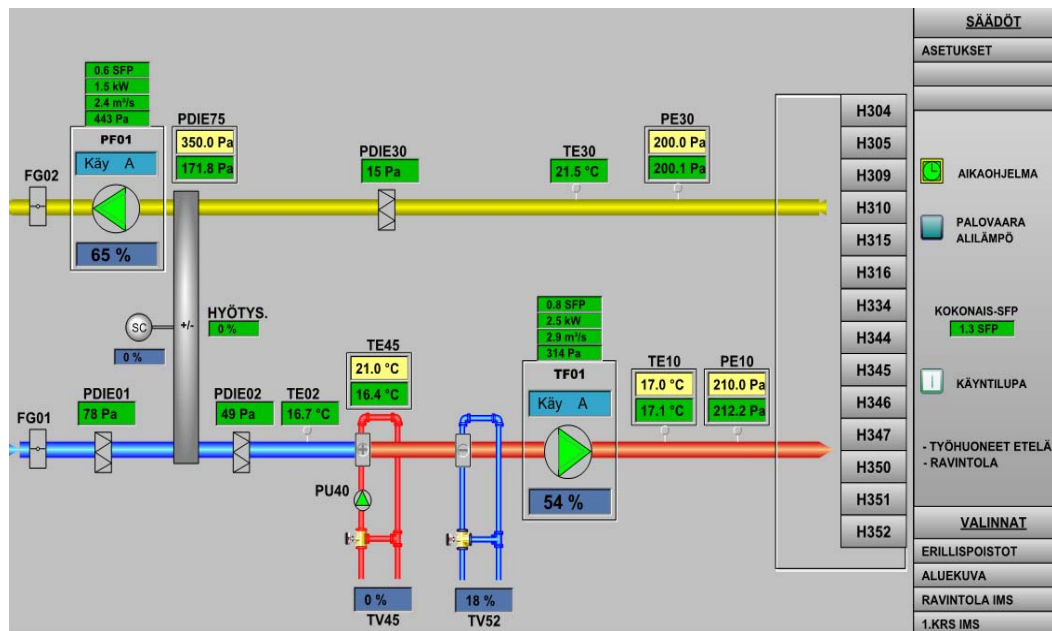
Kohteita tutkittiin Schneider Electricin hallinnoiman rakennusautomaatiojärjestelmän eValvomon avulla, johon kasarmien kampuksen rakennuksista suuri osa on liitetty. Trendiseurantajakso suoritettiin viikon mittaisena aikavälillä 28.1 - 3.2.2016. Trendiseurantajaksolla kerättiin erinäisten suureiden muutoksia valvomosta 10 minuutin näytteenottovälein kaikkien kuuden ilmankäsittelykoneen osalta. Taulukkoon 7 on koottu suuret, joiden muutokset jakson ajalta kerättiin talteen.

TAULUKKO 7. Trendiseurantajaksolta kerätty data

	TK41/ PK41	TK42/ PK42	TK43/ PK43	TK44/ PK44	TK45	TK46/ PK46
Puhallinpaine (tulo), Pa	x	x	x	x	x	x
Puhallinpaine (poisto), Pa	x	x	x	x		x
Tuloilmavirta, m3/s	x	x	x	x	x	x
Poistoilmavirta, m3/s	x	x	x	x		x

SFP (tulopuhallin), kW/(m3/s)	x	x	x	x	x	x
SFP (poistopuhallin), kW/(m3/s)	x	x	x	x		x
SFP (ilmankäsittelykone), kW/(m3/s)	x	x	x	x		x
Sähköverkosta otettu teho (tulopuhallin), kW	x	x	x	x	x	x
Sähköverkosta otettu teho (poistopuhallin), kW	x	x	x	x	x	x
Taajuusmuuttajasäätö (tulo), %	x	x	x	x	x	x
Taajuusmuuttajasäätö (poisto), %	x	x	x	x	x	x
Hiilidioksidianturi QE20, ppm	x					
Pukuhuoneen kosteus, ME20, %RH	x					
Olosuhdemaksimi, ppm						x
Ulkolämpötila, °C	x	x	x	x	x	x

Kuvassa 3 näkyy, miltä grafiikkakaavio näyttää TK44/PK44 osalta eValvomossa. Mittausjaksolta kerätyistä suureista tärkeimmät löytyvät kuvasta tulopuhaltimen TF01 ja poistopuhaltimen PF01 yläpuolelta. Myös kuvassa oikealla näkyvän Kokonais-SFP:n muutokset kerättiin jaksolta talteen. Kokonais-SFP:llä kyseisessä grafiikkakaaviossa tarkoitetaan yksittäisen ilmankäsittelykoneen ominaissähkötehoa.



KUVA 3. TK44/PK44:n grafiikkakaavionäkymä valvomosta

4.3 Aineiston käsittely

Trendiseurantajaksolta saatu data on haettu Schneider Electricin eValvomoon tallennetuista tiedoista ja käsitelty Microsoft Office Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Excelillä suureiden muutoksia ja niiden välisiä riippuvuuksia on havainnollistettu piste-

kaavioin otanta-arvojen määrän ollessa suuri. Otanta-arvojen pohjalta on laskettu suureiden muutoksien keskiarvoja, minimejä ja maksimeja sekä korrelaatiokertoimia.

Korrelaatiokertoimella r kuvataan muuttujaparin lineaarista riippuvuutta toisistaan ja kertoimen arvot asettuvat välille $-1 - 1$. Korrelaatiokerroin voi olla siis myös negatiivinen, mutta silti muuttujaparin välillä voi olla riippuvuutta, koska riippuvuuden voimakkuus saadaan korrelaatiokertoimen itseisarvosta. Korrelaation ollessa nolla on muuttujien välinen riippuvuus merkityksetön ja sen ollessa yksi on muuttujien välillä voimakas riippuvuus. [12, s. 54.] Selityksaste saadaan korrelaatiokertoimen r neliöstä ja se kertoo kuinka suuri osa muuttujan y vaihtelusta voidaan selittää muuttujan x avulla.

Trendiseurannoista saatujen kuvaajien ja rakennusautomaatiojärjestelmästä haettujen tietojen pohjalta saatuja SFP-lukuja on vertailtu ilmapäästelykoneiden mitoituksessa saatuihin arvoihin. Kuvaajien pohjalta on myös laskettu prosentuaalisesti kuinka paljon pienempiä ilmavirrat ovat verrattuna mitoitusilmavirtoihin. Lisäksi aineiston luotettavuus-osiossa on tarkasteltu rakennusautomaation virheellisiä mittaustuloksia.

5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

5.1 D-rakennus

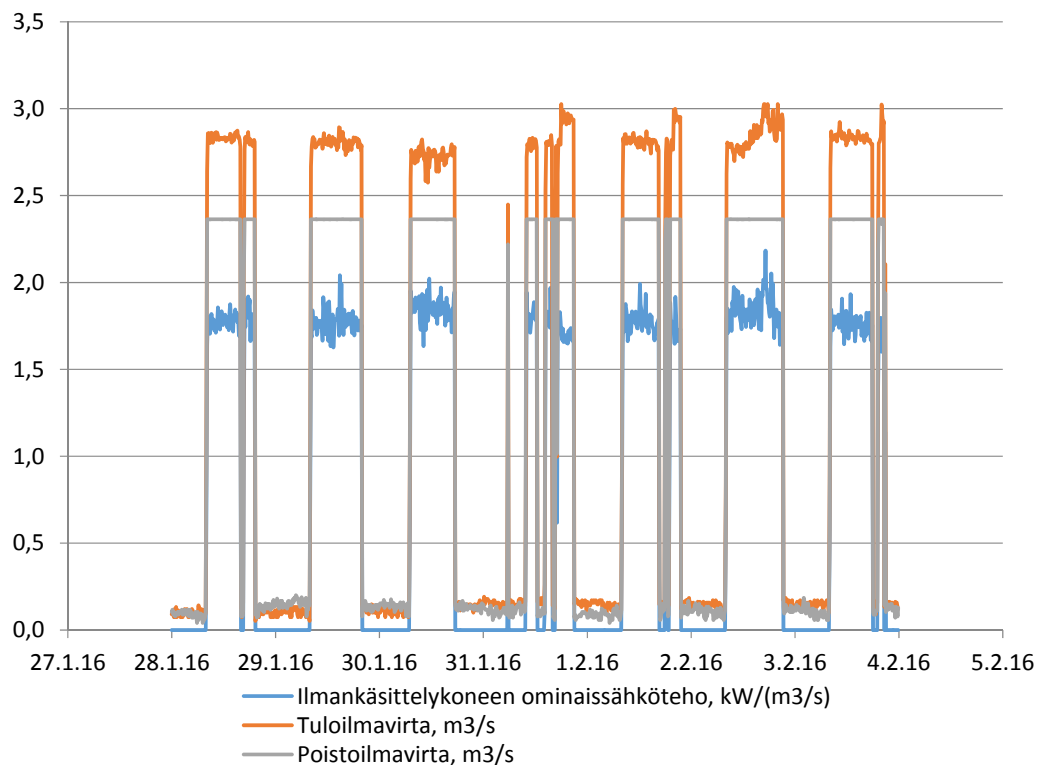
5.1.1 Ilmapäästelykone TK41/PK41

Ilmapäästelykone TK41 palvelee D-rakennuksen liikuntasalia. Kuvassa 2 on esitetty sen ilmavirtojen ja SFP-luvun muutoksia. Keskimääräinen tuloilmavirta on koneen käyntiaikana luokkaa $2,80 \text{ m}^3/\text{s}$. TK41:n poistoilmavirta on käyntiaikana jatkuvasti noin $2,40 \text{ m}^3/\text{s}$ eivätkä tuloilmavirrassa tapahtuneet muutokset vaikuta poistoilmavirran suuruuteen. Käyttöajan ulkopuolella koneen tulo- ja poistoilmavirrat ovat kuvan 2 mukaan luokkaa $0,10\text{--}0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, mutta esimerkiksi puhaltimien taajuusmuuttaja-arvot sekä valvomon viikko-ohjelma kertovat, että kun TK41 on käyttöajan ulkopuolisessa tilassa, niin se on pysähdyksissä. TK41 käynnistyy arkisin kello 8.00 mutta muuten koneen käyntiajat ovat vaihtelevia, riippuen liikuntasalin käytöstä. Kuvasta 2 nähdään että esimerkiksi 31.1.2016 kone käynnistyy ja pysähtyy päivän aikana useita kertoja.

Kuvan 4 yksittäisen ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho laskenta muodostuu kaavasta 2.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{v,max}} \quad (2)$$

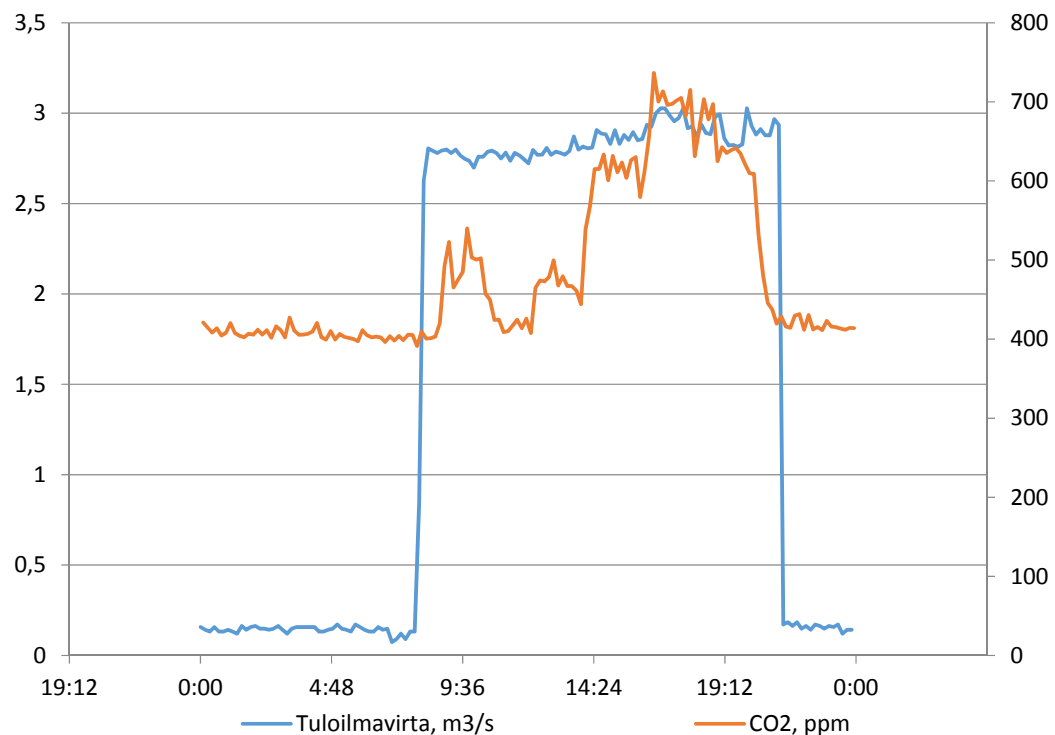
jossa SFP on ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)
 P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
 P_{poisto} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW
 $P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO- pumppujen ja – moottorien ottama sähköteho, kW
 $q_{v,max}$ on koneen tulo- tai poistoilmavirta (suurempi näistä), m³/s



KUVA 4. Trendiseurantajakso 28.1-3.2.2016 (TK41/PK41)

SFP-luvun keskiarvo kuvan 4 arvojen pohjalta laskettuna liikuntasalin käyntiajan osalta on noin 1,8 kW/(m³/s). Minimi ominaissähkötehon osalta on 1,6 kW/(m³/s) ja maksimi 2,2 kW/(m³/s).

Kuvassa 5 on esitetty päivän ajalta tuloilmavirran vaihtelut ja CO₂ – ohjauksen antamat arvot ja pyritty havainnollistamaan näiden suureiden vaikutusta toisiinsa. CO₂ –mittauksen lukemat vaihtelevat välillä 400 – 740 ppm. Tulopuhaltimen tuottama minimi-ilmavirta koneen käyntiajan osalta on 2,62 m³/s ja maksimi-ilmavirta 3,03 m³/s.



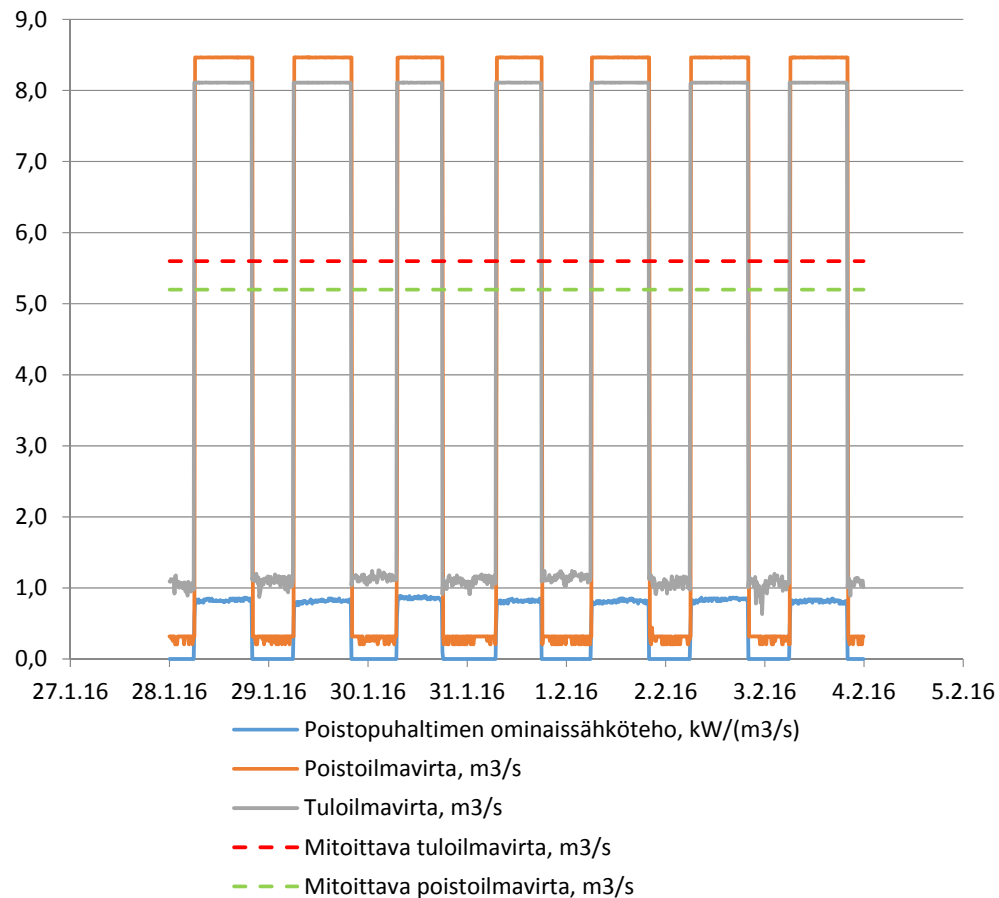
KUVA 5. Tuloilmavirran muutos suhteessa CO₂-arvoihin, 2.2.2016 (TK41/PK41)

Kuvan 5 päivän otanta-arvoista muuttujien väliseksi korrelaatioksi saadaan koneen käyttöaikana 0,70 selitysasteen ollessa 49 %. Muuttujaparin välillä vaikuttaa huomattava riippuvuus ja 49 % tuloilmavirran muutoksista voidaan selittää hiilidioksidipitoisuuden mittausarvojen muutoksilla.

5.1.2 Ilmankäsittelykone TK42/PK42

Ilmankäsittelykone TK42/PK42 palvelee D-rakennuksen 1. ja 2. kerroksen luokkia ja sen keskimääräinen tuloilmavirta on kuvan 6 mukaan koneen käyntiaikana 8,10 m³/s. Koneen poistoilmavirta on käyntiaikana jatkuvasti noin 8,50 m³/s. Kuitenkin koneen mitoituksessa käytetyt ilmavirrat ovat tulopuolen osalta 5,6 m³/s ja poistopuolen osalta

5,2 m³/s. Muuttuvailmavirtajärjestelmän koneen ilmavirtojen pitäisi olla reilusti alle mitoittavien ilmavirtojen, joka ei tässä tapauksessa siis toteudu. Lisäksi koneen ilma-
virrat eivät trendiseurannan mukaan käyttöaikana muutu nimeksikään. Käyttöajan
ulkopuolella koneen tuloilmavirta on trendiseurannan mukaan noin 1,10 m³/s ja pois-
toilmavirta 0,30 m³/s, mutta oikeasti kone ei ole käynnissä. Kone on ohjelmoitu aika-
ohjelman mukaan käynnistymään arkisin kello 6.00 ja pysähtymään kello 20.00. Vii-
konlopun käyntiajat ovat 7.00 - 18.00.



KUVA 6. Trendiseurantajakso 28.1-3.2.2016 (TK42/PK42)

Tuloilmapuhaltimen ominaissähköteho ja puhaltimen sähköverkosta ottama teho näyt-
tivät seurantajakson ajalta nollaa, jonka takia kuvassa 6 on esitetty poistoilmapuhalti-
men SFP-luvun kehitys. Poistopuhaltimen ominaissähköteho saadaan kaavasta 3 [6].

$$SFP = \frac{P_{puhallin} + P_{apulaitteet}}{q_v} \quad (3)$$

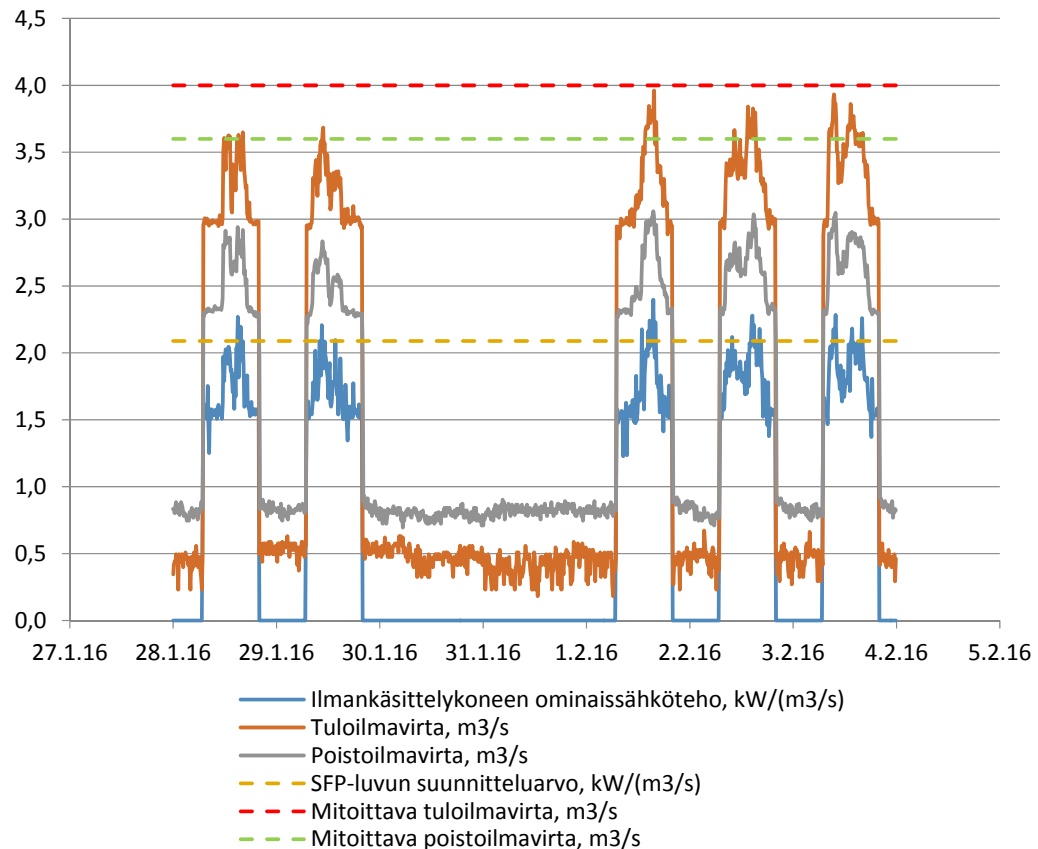
jossa SFP on puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m³/s)
 P_{puhallin} on puhaltimen ottama sähköteho, kW
 $P_{\text{apulaitteet}}$ on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden ottama sähköteho, kW
 q_v on puhaltimen ilmavirta, m³/s

Poistopuhaltimen SFP-luvun käyntiajan keskiarvo käyttöaikana on 0,85 kW/(m³/s), maksimin ollessa 0,90 kW/(m³/s) ja minimin 0,78 kW/(m³/s). Koko koneen osalta suunnittelu-arvo on 2,11 kW/(m³/s).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 sanoo, että oppilaitoksen opetustilojen ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan [6, s. 22]. Kuvan 6 perusteella TK42/PK42 kuitenkin kävisi aina lähestulkoon samoilla ilmavirroilla, mikä ei pidä paikkaansa. Trendiseurantajaksolta kerätty aineisto ilmankäsittelykone TK42/PK42:n osalta ei tunnu olevan luotettava ja kummankin puhaltimen toimintaa kuvaavat suureseurannat kaipaavat huoltoa ennen kuin arvojen pohjalta voi tehdä luotettavia arvioita.

5.1.3 Ilmankäsittelykone TK43/PK43

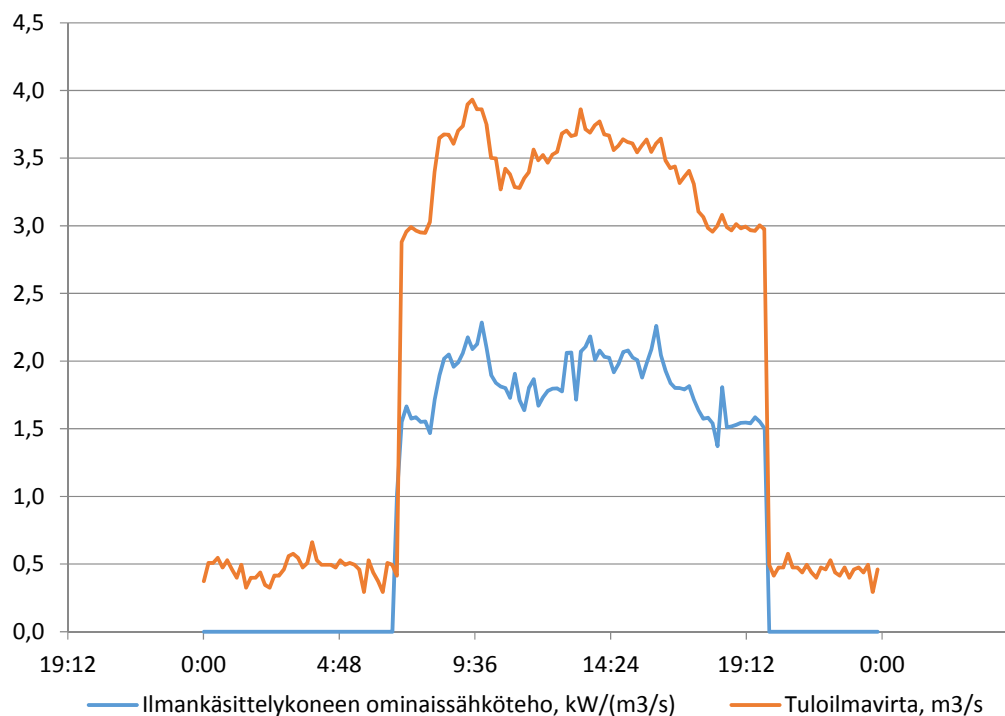
Ilmankäsittelykone TK43/PK43 palvelee D-rakennuksen 3. kerroksen luokkatiloja. Koneen SFP-luvun ja ilmavirtojen muutoksia on havainnoitu kuvassa 7. Koneen mitoituksessa käytetty tuloilmavirta on 4,00 m³/s ja poistoilmavirta 3,60 m³/s. Tuloilmavirrat vaihtelevat rakennuksen käyttöaikana välillä 2,90 – 4,00 m³/s. Koneen poistoilmavirta muuttuu käyttöaikana välillä 2,20 – 3,10 m³/s. Kuvasta nähdäänkin, että tulo- ja poistopuolella mitoitussilmavirtaan päästään vain hetkellisesti ja poistopuolella ei lähellekään. Tilojen käyttöajan ulkopuolella eli ilta- ja yöaikana sekä viikonloppuisin koneen tuloilmavirta on trendiseurannan mukaan luokkaa 0,20 – 0,60 m³/s ja poistoilmavirta 0,70 – 0,90 m³/s, mikä ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Ilmankäsittelykone TK43/PK43 käynnistyy viikko- ohjelman mukaisesti arkinen kello 6.50 ja pysähtyy kello 20.00. Viikonloppuisin TK43/PK43 on pysähdyksissä, seurantajaksolla päivät 30.1 – 31.1.2016.



KUVA 7. Trendiseurantajakso 28.1-3.2.2016 (TK43/PK43)

Ilmankäsittelykoneen TK43/PK43 ominaissähkötehon käyntiajan keskiarvo kuvasta 7 on $1,75 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ominaissähkötehon maksimiarvo tarkastelujakson 1 aikana on $2,40 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Minimiarvo viikon jaksolta koneen käyntiaikana on $1,23 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Koneen mitoitusilmavirroilla laskettu ja suunniteltu ominaissähköteho on $2,09 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Kuvassa 8 on havainnollistettu vuorokauden ajalta ilmankäsittelykoneen ominaissähkötehon ja tuloilmavirran muutoksia. Ilmankäsittelykone TK43/PK43:n käyntiaika on ollut 3.2.2016 aikavälillä 6.50 – 20.00. Tuloilmavirta vaihtelee koneen käyntiaikana välillä $3,00 - 3,90 \text{ m}^3/\text{s}$. SFP-luvun keskiarvo on päivän ajalta $1,82 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, minimi $1,37$ ja maksimi $2,28 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.



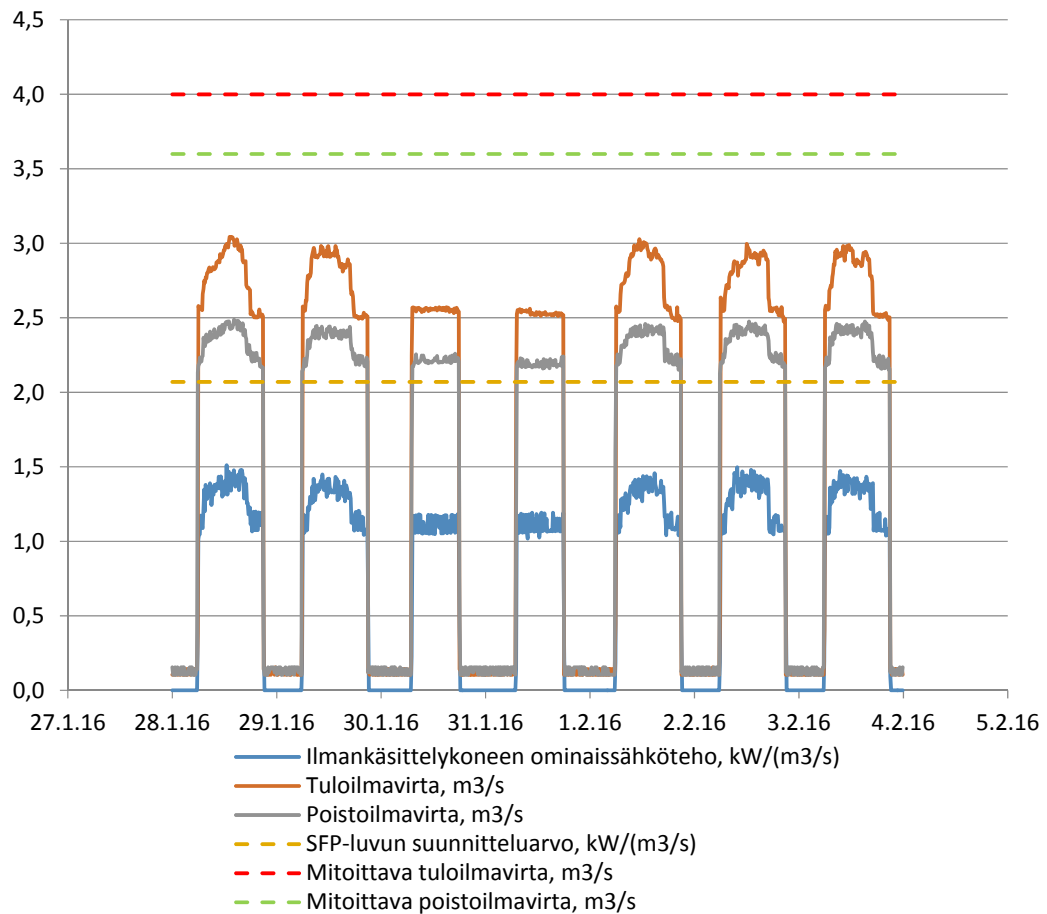
KUVA 8. Ilmankäsittelykoneen SFP-luvun ja tuloilmavirran muutokset vuorokauden 3.2.2016 aikana (TK43/PK43)

Tutkimalla kuvan 8 kahden tilastollisen muuttujan välistä yhteyttä saadaan otanta-arvoista korrelaatiokertoimeksi 0,90 ja selitysasteeksi 81,1 %. Näiden arvojen pohjalta voidaan todeta SFP-luvun ja tuloilmavirran välillä olevan voimakas korrelaatio. Suurimmat piikit arvoissa nähdään kello kymmenen aikoihin sekä iltapäivällä. Lounasaikaan sekä iltapäivän kääntyessä iltaan nähdään selvä pudotus sekä ilmavirroissa että SFP-luvussa, joka tuo myös esille tarpeenmukaisen ilmanvaihdon hyödyt. Ei ole järkeä vaihtaa luokkatilojen ilmaa suurella teholla silloin, kun niillä ei ole käyttöä.

5.1.4 Ilmankäsittelykone TK44/PK44

Ilmankäsittelykone TK44/PK44 on suunniteltu palvelemaan D-rakennuksen etelänpuoleisia työhuoneita sekä ravintolaa. Kuva 9 havainnollistaa kyseisen koneen ominaissähkötehon ja ilmavirtojen muutoksia viikon seurantajakson ajalta. Käyntiajan tuloilmavirrat vaihtelevat välillä 2,50 – 3,05 m³/s ja poistoilmavirrat akselilla 2,15 – 2,5 m³/s. Koneen mitoituksessa käytetty tuloilmavirta on 4,00 m³/s ja poistoilmavirta 3,60 m³/s. Huomattavaa on, että TK44/PK44 on toiminnassa myös viikonloppuisin, kuvassa 9 päivät 30.1 – 31.1.2016. Päivittäisen huipun osalta ero tuloilmavirrassa on

noin $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilmavirrassa $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ verrattuna arkipäiviin. Ilmankäsittelykone TK44 käynnistyy arkipäivisin kello 5.50 ja pysähtyy kello 21.00. Viikonloppuna käynnistys tapahtuu kello 7.00 ja pysähtyminen kello 18.00.



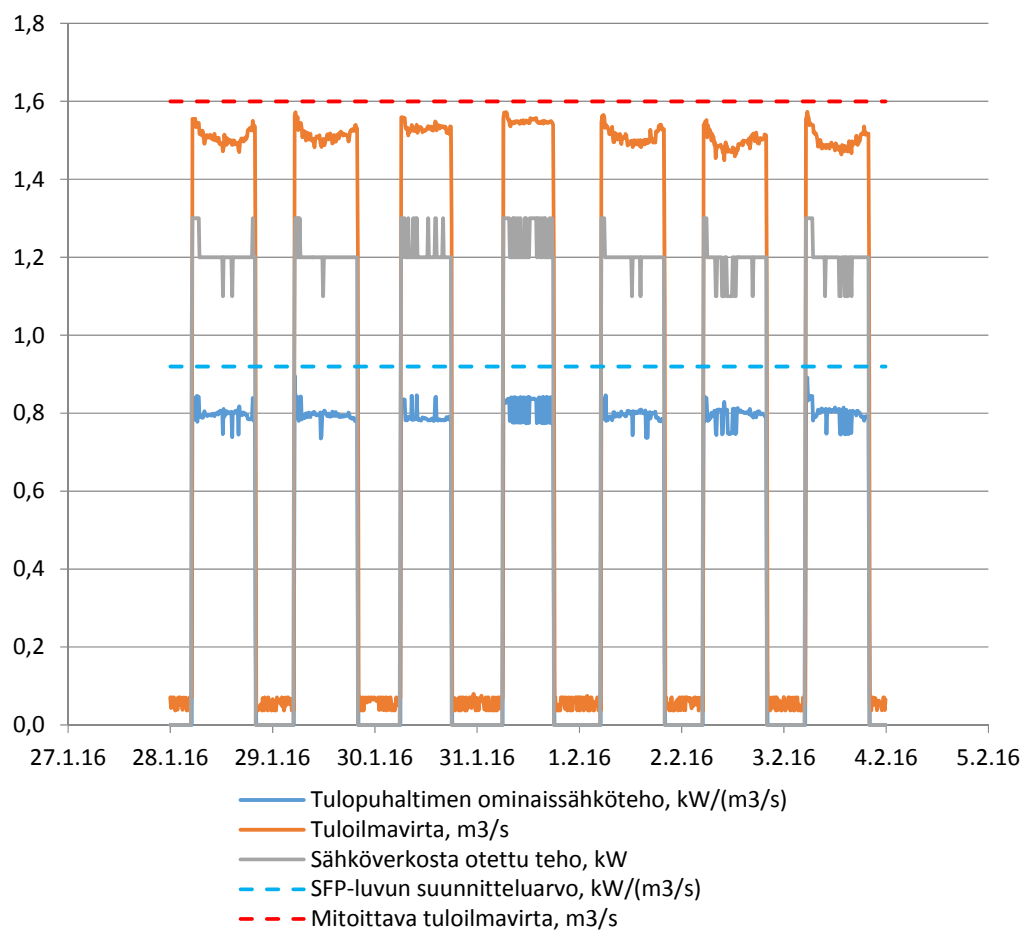
KUVA 9. Trendiseurantajakso 28.1-3.2.2016 (TK44/PK44)

Ilmankäsittelykoneen TK44/PK44 ominaissähkötehon keskiarvo kuvan 9 mukaan arkipäiviltä on $1,28 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja viikonloputta $1,10 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ koneen käyntiaikana. Ominaissähkötehon maksimi-arvo tarkastelujakson 1 aikana on $1,51 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Minimi-arvo viikon jaksolta käyntiaikana on $1,02 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Kone ei missään vaiheessa saavuta suunnitteluarvoa $2,07 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, joka johtuu ennen kaikkea siitä, että ilmavirratkaan eivät yllä lähelle suunniteltuja.

5.2 X-rakennus

5.2.1 Ilmankäsittelykone TK45

X-rakennuksen ilmankäsittelykone TK45 palvelee keittiötä. Kuvassa 10 on havainnointu sen tuloilmapuhaltimen SFP-luvun muutoksia sekä tuloilmavirran ja koneen sähköverkosta ottaman tehon vaihteluita. TK45 käynnistyy arkisin kello 5.00 ja pysähtyy kello 20.00. Viikonloppuisin kone käynnistyy kello 6.00 ja pysähtyy kello 18.00. Tuloilmavirta vaihtelee käyntiaikana välillä 1,46 – 1,58 m³/s, eli tulopuhallin tuottaa lähes mitoitusilmavirran 1,60 m³/s.



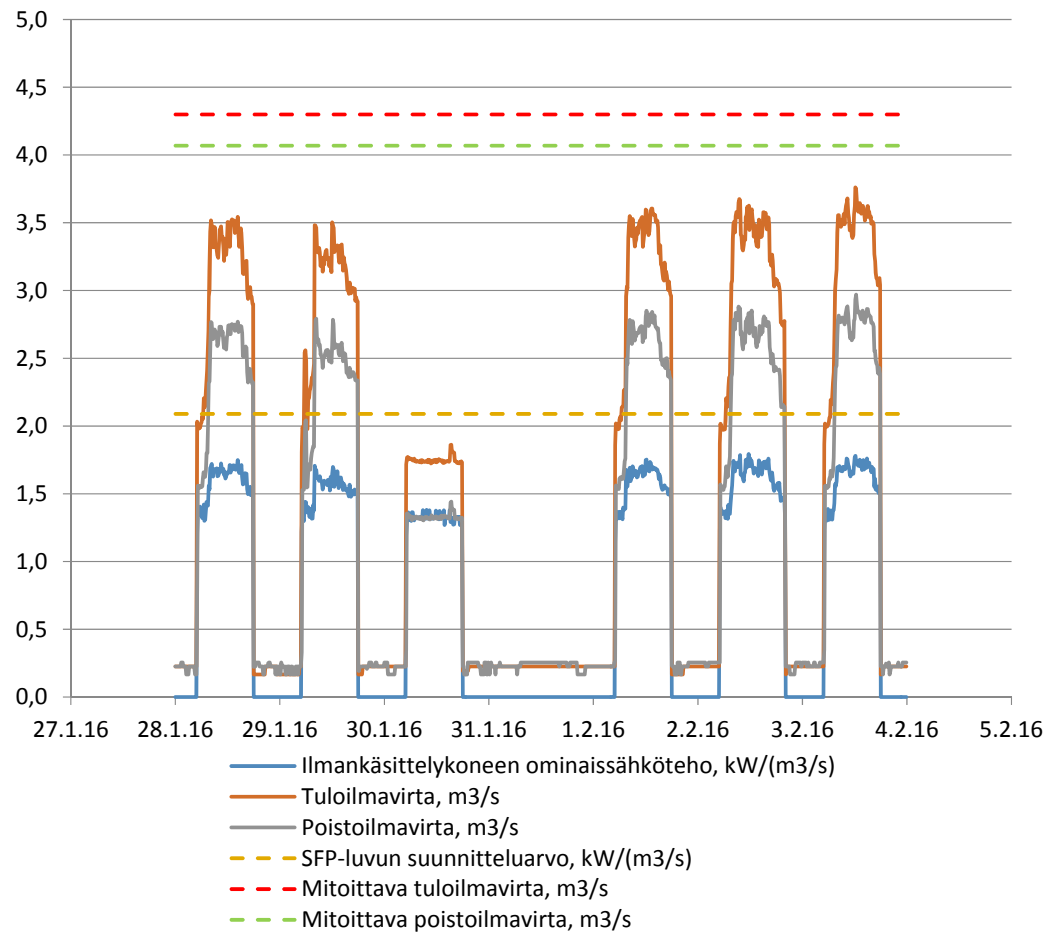
KUVA 10. Trendiseurantajakso 28.1-3.2.2016 (TK45)

Ilmankäsittelykoneen tulopuhaltimen sähköverkosta ottama teho vaihtelee koneen käyntiaikoina välillä 1,1 – 1,3 kW. SFP-luvun käyntiajan keskiarvo on 0,80

kW/(m³/s). Tarkastelujakson minimi otannasta on 0,73 kW/(m³/s) ja maksimi 0,85 kW/(m³/s). Koneen suunniteltu ominaissähköteho on 0,92 kW/(m³/s).

5.2.2 Ilmankäsittelykone TK46/PK46

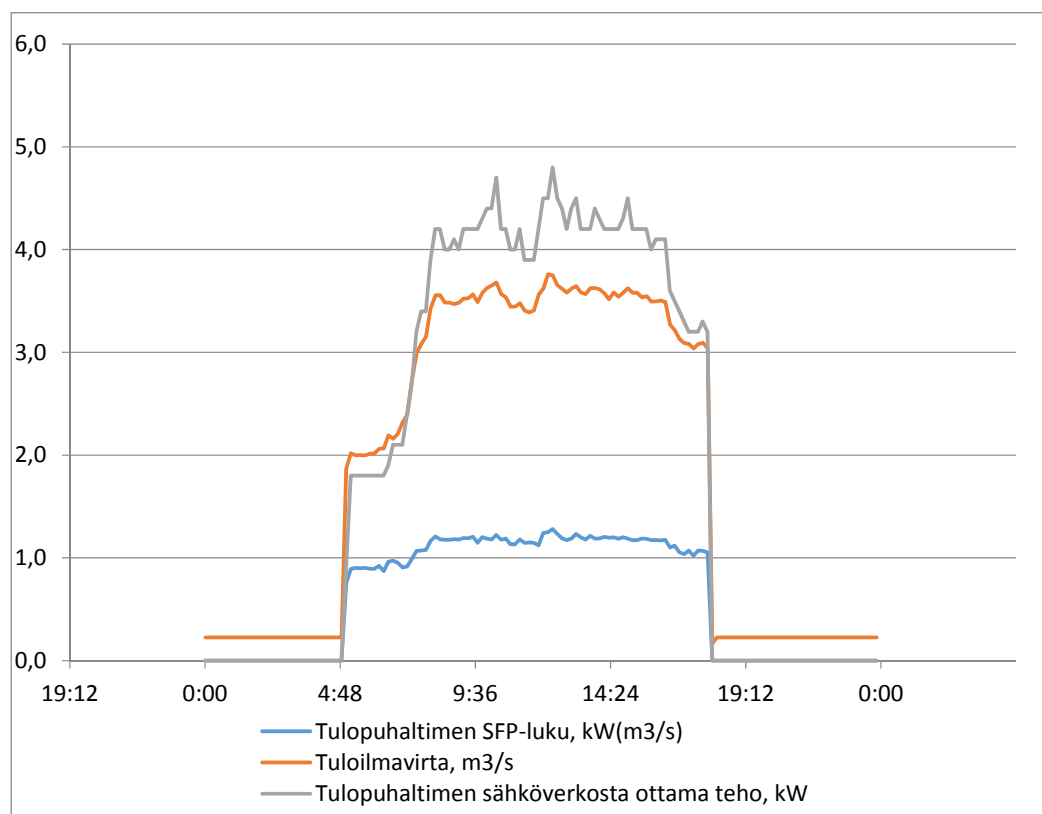
X-rakennuksen ilmankäsittelykone TK46/PK46 palvelee 1. – 3. kerroksen toimistoja ja luokkia. Kuvassa 11 on havainnollistettu koneen SFP-luvun muutoksia sekä tulo- ja poistoilmavirtojen vaihteluita. TK46 käynnistyy arkisin sekä lauantaisin kello 5.00 ja pysähtyy kello 18.00 viikko-ohjelman mukaisesti. Sunnuntaisin ja käyttöaikojen ulkopuolella TK46 ei ole käynnissä, vaikka kuvasta 11 voikin tulkita niin olevan. Tuloilmavirta vaihtelee koneen käyntiaikana välillä 2,00 – 3,76 m³/s. Poistoilmavirran vaihtelut ovat välillä 1,50 – 2,97 m³/s. Mitoitusilmavirrat ovat tulopuolella 4,30 m³/s ja poistopuolella 4,07 m³/s ja myöskään tämän koneen osalta noihin ilmavirtoihin ei päästä missään vaiheessa.



KUVA 11. Trendiseurantajakso 28.1-3.2.2016 (TK46/PK46)

Ilmankäsittelykoneen TK46/PK46 käyntiajan keskiarvo ominaissähkötehon osalta on kuvan 11 mittausjaksolta 1,54 kW/(m³/s). Ominaissähkötehon maksimiarvo tarkastelujakson ajalta on 1,80 kW/(m³/s). Minimiarvo viikon jaksolta käyntiaikana on 1,19 kW/(m³/s). Koneen suunniteltu ominaissähköteho on 2,09 kW/(m³/s).

Kuvassa 12 on esitetty päivän 3.2.2016 ajalta tulopuhaltimen SFP-luvun, sähköverkosta otetun tehon sekä tuloilmavirran muutoksia. Koneen käyntiajalta sähköverkosta otetun tehon muutokset ovat koneen käyntiaikana välillä 1,8 – 4,8 kW. Tuloilmavirta vaihtelee akselilla 2,00 - 3,76 m³/s ja ominaissähköteho välillä 0,87 - 1,28 kW/(m³/s).

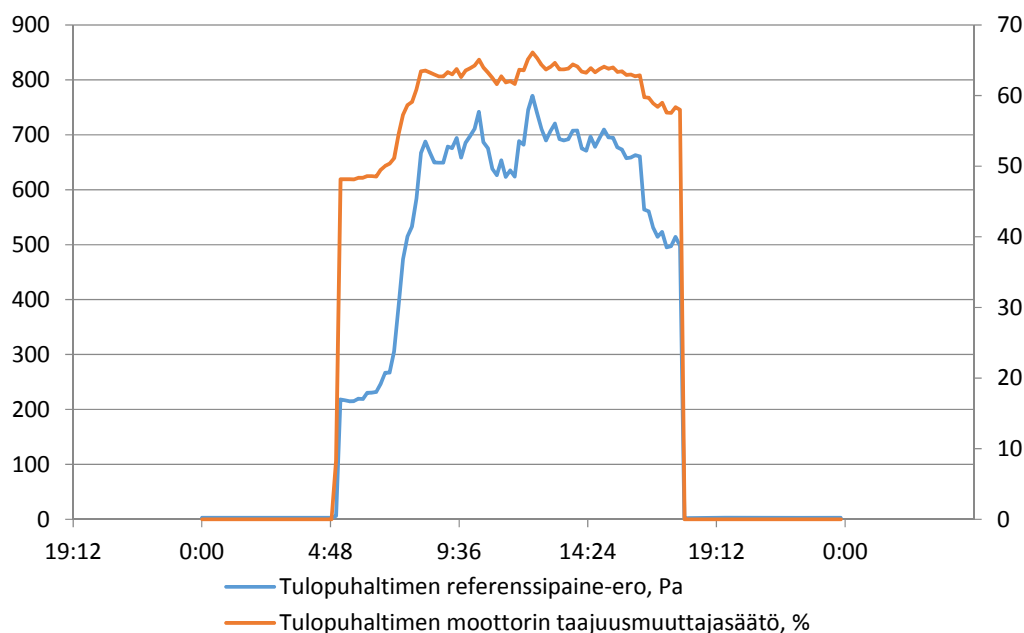


KUVA 12. Tulopuhaltimen ominaissähkötehon, sähköverkosta otetun tehon ja ilmavirran muutokset 3.2.2016 (TK46/PK46)

Kuvasta 12 voidaan todeta suureiden muutoksien olevan vahvasti yhteydessä toisiinsa. Muuttujien väliset korrelaatiot ovat välillä 0,97 - 0,99 ja selitysasteet välillä 94 – 98 %. Kuvasta nähdään, että kello 7 - 8 välillä, kun luokka- ja toimistotiloissa alkaa olla ihmisiä, niin säätimien avulla tapahtuvat huoneohjaukset lisäävät puhaltimen tuotta-

maa tuloilmavirtaa. Iltaapäivän edetessä kello 14 - 16 välillä ihmisten poistuessa tiloista näkyy taas päinvastainen ilmiö. Sama ilmiö näkyy myös kuvassa 9 jokaisen päivän osalta. Tämä osoittaa, että tarpeenmukainen ilmanvaihto toimii.

Kuvassa 13 on vielä saman päivän ajalta esitetty taajuusmuuttaja-arvojen muutos suhteessa tulopuhaltimen referenssipaine-eroon. Minimi referenssipaine-ero puhaltimen pyöriessä on 215 Pa ja maksimi 771 Pa. Taajuusmuuttaja-arvot vaihtelevat välillä 48 %- 66 %.



KUVA 13. Tulopuhaltimen referenssipaine-eron ja taajuusmuuttajasäädön muutokset 3.2.2016 (TK46/PK46)

Taajuusmuuttajat ohjaavat puhaltimien pyörimisnopeutta kanavapaineen perusteella, joka pyritään pitämään vakiona. Kuvasta nähdään ja aineistosta saadaan muuttujien väliseksi korrelaatioksi 1, eli referenssipaine-ero näyttää olevan täysin riippuvainen taajuusmuuttajalla tehtävästä säädöstä.

5.3 Yhteenveto tuloksista ja suunniteltuihin arvoihin vertailu

Taulukossa 8 on esitetty trendiseurantajaksolla seurattujen suureiden keskiarvot siltä ajalta kun ilmentäytymykoneet ovat olleet toiminnassa käyntiajan mukaisissa ilmavir-

roissa. Mittausjakson aikainen keskimääräinen ulkolämpötila oli -0,8 °C, eikä sillä todettu olevan vaikutusta muihin seurattuihin suureisiin.

TAULUKKO 8. Seurattujen suureiden mittauskeskiarvot ilmankäsittelykoneiden osalta koneiden käyntiajan mukaan laskettuna ajalta 28.1-3.2.2016

	TK41/ PK41	TK42/ PK42	TK43/ PK43	TK44/ PK44	TK45	TK46/ PK46
Tulopuhaltimen referenssipaine-ero, Pa	4316	4966	809	398	1254	475
Poistopuhaltimen referenssipaine-ero, Pa	4924	4976	495	288		293
Tuloilmavirta, m3/s	2,8	8,11	3,27	2,7	1,51	2,89
Poistoilmavirta, m3/s	2,36	8,36	2,55	2,29		2,26
SFP (tulopuhallin), kW/(m3/s)	0,93	0	1,27	0,79	0,8	1,06
SFP (poistopuhallin), kW/(m3/s)	1,02	0,82	0,62	0,51		0,62
SFP (ilmankäsittelykone), kW/(m3/s)	1,80	0	1,75	1,23		1,54
Verkosta otettu teho (tulopuhallin), kW	2,61	0	4,15	2,16	1,21	3,14
Verkosta otettu teho (poistopuhallin), kW	2,4	6,94	1,59	1,18	1,1	1,42
Taajuusmuuttajasäätö (tulo), %	70,4	93,4	77,5	52,4	86,8	56,7
Taajuusmuuttajasäätö (poisto), %	87	91,3	82,3	60,3	53,9	60,6
Hiilidioksidianturi QE20, ppm	470					
Olosuhdemaksimi, ppm						597

Taulukon 8 keltaisella merkityt lukemat ovat epäilyttäviä. Punaisella merkityt ovat epäluotettavia ja vihreällä merkattuja voidaan pitää luotettavina. Aineiston luotettavuus-kappaleessa on perehdytty tarkemmin tulosten luotettavuuteen.

Taulukossa 9 on esitetty SFP-lukujen suunnitteluarvot, joita on verrattu seurantajaksona tutkittujen koneiden käyntiaikojen mukaisiin keskiarvoihin ja laskettu näiden prosentuaalinen ero.

TAULUKKO 9. Vertailutaulukko SFP-lukujen eroista

	TK41/ PK41	TK42/ PK42	TK43/ PK43	TK44/ PK44	TK45	TK46/ PK46
Seurantajakson SFP- luvun keskiarvo, kW/(m3/s)	1,80	?	1,75	1,23	0,80	1,54
Suunniteltu SFP-luku, kW/(m3/s)	?	2,11	2,09	2,07	0,92	2,09
Prosentuaalinen ero, %	-	-	16,3	40,6	13,0	26,3

Taulukosta 9 nähdään, että seurantajaksonsa saadut SFP-luvut ovat huomattavasti pienemmät kuin suunnitellut arvot. Koska tarkasteltavat ilmanvaihtojärjestelmät ovat

muuttuvailmavirtaisia, eivät ne ole mitoitusilmavirroissa eli suurimmillaan kuin pienen osan koneiden käyntiajasta. Tämä heijastuu suoraan puhaltimien ottamaan sähkötehoon ja näkyy myös mittausaikaisten keskiarvojen osalta suunnitteluarvoja pienemmissä SFP-luvuissa.

TK44/PK44:llä saavutetaan taulukon 9 mukaan todella suuret ”säästöt”, kun verrataan seurantajaksolta saatua arvoa suunnitteluarvoon. Myös TK46/PK46:n kohdalla ero on huomattava. TK43/PK43 kohdalla arvot eivät ole luotettavia.

Taulukon 9 pohjalta voidaan todeta TK45:n, joka palvelee keittiötä toimivan aikalailla suunniteltua SFP-lukua myötäillen johtuen siitä, että se on tutkittavista koneista ilmavirroiltaan vähiten muuttuva, koska muiden koneiden tapaan ei ole mitään suuria luokka/työhuonekohtaisia säätöjä.

Taulukossa 10 on esitetty yksittäisten puhaltimien SFP-luvut luokiteltuna taulukon 2 mukaiseen kategoriointiin. TK43:n tulopuhallinta lukuun ottamatta kaikki puhaltimet sijoittuvat SFP 2- tai SFP 3 -kategoriaan. Standardin kategoriointin perusteella puhaltimia voidaan pitää energiatehokkaina.

TAULUKKO 10. Yksittäisten puhaltimien kategoriointi standardin SFS-EN 13379 mukaan

Ilmankäsittelykone ja puhallin	Mittausajan keskiarvo, kW/(m ³ /s)	Kategoria
TK41, tulopuhallin	0,93	SFP 3
PK41, poistopuhallin	1,02	SFP 3
TK44, tulopuhallin	0,79	SFP 3
PK44, poistopuhallin	0,51	SFP 2
TK45, tulopuhallin	0,80	SFP 3
TK46, tulopuhallin	1,06	SFP 3
PK46, poistopuhallin	0,62	SFP 2

Taulukosta 11 on esitetty, kuinka paljon pienempiä seurantajakson keskimääräiset ilmavirrat ovat mitoittaviin ilmavirtoihin nähden. Keskimääräiset ilmavirrat on laskettu IV-koneiden käyntiajoilta. Prosentuaaliset erot ovat suuria, varsinkin poistoilmavirtojen kohdalla.

TAULUKKO 11. Mitoitusilmavirtojen erot suhteessa trendiseurantajakson keskiarvoihin

	TK44/PK44	TK45	TK46/PK46
Mitoittava tuloilmavirta, m3/s	4,00	1,60	4,30
Seurantajakson keskimääräinen tuloilmavirta, m3/s	2,70	1,51	2,89
Prosentuaalinen ero, %	32,5	5,6	32,8
Mitoittava poistoilmavirta, m3/s	3,60		4,07
Seurantajakson keskimääräinen poistoilmavirta, m3/s	2,29		2,26
Prosentuaalinen ero, %	36,4		44,5

5.4 Aineiston luotettavuus

Taulukossa 12 on esitetty IV-koneajoista saadut konekoon mukaiset k-kertoimet puhaltimille sekä Schneider Electricin rakennusautomaatioon syöttämät kertoimet samoille puhaltimille.

TAULUKKO 12. Puhaltimien k- kertoimet IV-koneajosta sekä rakennusautomaatiojärjestelmästä

	K-kerroin IV-koneajon mukaan	K-kerroin rakennusautomaatiojärjestelmästä
TK41	Ei tietoa	0,0428
PK41	Ei tietoa	0,0336
TK42	0,1722	0,1151
PK42	0,1722	0,12
TK43	0,1361	0,1151
PK43	0,1361	0,1151
TK44	0,1361	0,1361
PK44	0,1361	0,1361
TK45	0,0428	0,0428
TK46	0,1361	0,1361
PK46	0,1361	0,1361

Taulukosta 12 nähdään, että koneiden TK42/PK42 ja TK43/PK43 osalta k-kertoimet eivät täsmää, jolloin myös rakennusautomaation laskettamat ilmavirrat ovat väärässä. Koska TK42/PK42:n osalta on myös mittauksessa häiriöitä, on seuraavassa esitetty minkä suuruusluokan virhe väärällä k-kertoimella näkyy saadussa ilmavirrassa TK43:n osalta. Kaavalla 5 lasketussa esimerkissä käytetään TK43:n IV-koneajon mukaista referenssipaine-eroa 864 Pa.

IV-koneajon mukainen laskenta: $0,1361 * \sqrt{864Pa} = 4,00 \text{ m}^3/\text{s}$

Rakennusautomaation laskenta: $0,1151 * \sqrt{864Pa} = 3,38 \text{ m}^3/\text{s}$

Kuten huomataan, on rakennusautomaation laskema ilmavirta $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ todellista ilmamäärää pienempi. Koska eValvomon puhaltimien SFP-luvut ovat järjestelmän laskemia arvoja ja esimerkiksi yksittäisen puhaltimen osalta laskenta suoritetaan jakamalla sen hetkinen puhallinlaitteiston ottama sähköteho puhaltimen tuottamalla ilmavirralla, niin heijastuu ilmavirran laskennasta saatu virhe suoraan SFP-lukuihin seuraavan esimerkin mukaisesti. Esimerkin sähköverkosta otetut tehot ovat TK43:n viikon mittausjakson keskiarvot.

Todellinen SFP-luku: $\frac{4,15 \text{ kW} + 1,59 \text{ kW}}{4,00 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,44 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Väärä SFP-luku: $\frac{4,15 \text{ kW} + 1,59 \text{ kW}}{3,38 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,70 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Väärä SFP-luku on siis esimerkin mukaisesti $0,26 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ suurempi kuin todellisen hetkellisen arvon kuuluisi olla.

Kuvassa 14 näkyy vielä PK42:n puhaltimen tyyppikilpi, josta huomataan, että puhallin ja k-kerroin ovat IV-koneajon mukaiset. Myös TK42:n, TK43:n ja PK43:n osalta IV-koneiden kylkeen kiinnitetyt puhaltimien tyyppikilvet täsmäsivät IV-koneajon kanssa.



KUVA 14. Puhaltimen tyyppikilpi, PK42

TK42/PK42 osalta tulo- ja poistopuhaltimen referenssipaine-erot näyttävät lähestulkoon 5000 Pascalia, joka on kohteen paine-erolähettimien painealueen yläalueella, lähes maksimissa. Puhaltimien IV-koneajon mukaiset referenssipaine-erot ovat:

- Tulopuhallin: 1057 Pa
- Poistopuhallin: 912 Pa

Referenssipaineen mittausvirheestä johtuen TK42/PK42:n ilmavirtojen laskenta on pielessä ja ne näyttävät valvomon laskentamenetelmän perusteella takia todella suurelta. Myös sähköverkosta otetun tehon mittaukset olisi molempien puhaltimien osalta syytä tarkistuttaa, tosin poistopuhaltimen osalta mittaus voi pitää paikkansa, johtuen suurista mitoitusilmavirroista. Myös taajuusmuuttajien lukemat ovat epäilyttävän suuret.

TK41/PK41-puhaltimien paine-eromittaus herättää myös epäilyjä seurantajakson lukemien ollessa suuret. Ilmanvaihtokuvat liikuntasalista, jota kone palvelee, näyttivät suunnitelluiksi ilmavirroiksi noin 2 m³/s, joten mittaukset todennäköisesti ovat pielessä.

TK44/PK44:n, TK45:n ja TK46/PK46:n osalta seurannat vaikuttavat olevan kunnossa.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin osittain. Kolmen tarkasteltavan ilmapuhaltuslaitteen kohdalta ominaissähkötehoa pystyttiin tarkastelemaan luotettavasti ja havainnollistamaan muuttuvailmavirtaisten järjestelmien hyötyjä. Kolmen muun koneen kohdalla todelliset SFP-luvut jäivät selvittämättä johtuen rakennusautomaatiojärjestelmän virheellisistä mittauksista/asetuksista.

Opinnäytetyön toteutus ei ollut aivan onnistunut järjestyksen osalta. Rakennusautomaatiojärjestelmän luotettavuuteen olisi pitänyt perehtyä paremmin eli siis selvittää aluksi, mihin eValvomasta saatavien puhallinsuureiden mittaukset/laskennat perustuvat. Toisaalta nyt tapahtuneessa toteutuksessa trendijaksolta saatujen kuvien sekä mitoitusilmavirtojen pohjalta oli aineiston luotettavuuden tarkastelu helpompaa.

Valvomon reaaliaikaisen puhaltimen tuottaman ilmavirran rinnalle olisi hyvä liittää esimerkiksi suunnittelussa käytetyt mitoitusilmavirrat, jolloin puhaltimien kohdalla voisi heti tehdä ainakin karkean päätelmän siitä, onko järjestelmän laskenta kunnossa.

Työn pohjalta voidaan todeta rakennusautomaation avulla saatavan informaation olevan mittava ja sen merkitys kiinteistönhallinnassa tulee tulevaisuudessa varmasti kasvamaan. Toisaalta automaation tarjoamaan tietoon ei pidä luottaa sokeasti johtuen suunnattomasta määrästä erilaisia mittauksia ja laskentoja, joita järjestelmien avulla suoritetaan.

LÄHTEET

1. Sandberg, Esa (toim.). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointiteknikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka- Julkaisut Oy. 2014
2. Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2004
3. Mäkinen, Pekka & Railio, Jorma 2004. SFP - opas. PDF - dokumentti: <http://www.flaktwoods.fi/476d6be3-be6e-42e9-bd82-6152ff71a7aa>. Luettu 12.5.2016
4. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto. Pdf - dokumentti: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Luettu 8.2.2016
5. Sandberg, Esa (toim.). Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointiteknikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka- Julkaisut Oy. 2014
6. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto. Pdf - dokumentti: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Luettu 8.2.2016.
7. Pulliainen, Marko. LVI 30-10529. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkö- teho SFP. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2013
8. Brelih, Nejc, Seppänen, Olli, Bertilsson, Thore, Maripuu, Mari-Liis, Lamy, Herve & Vanden Borre, Alex. Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems. Guidebook no. 17. Bryssel: REHVA. 2012
9. Shemeikka, Jari, Hietaniemi, Janne, Heinonen, Jarmo 2003. Motiwatti 2.0 energiakatselmoijan työkalun laskentaperiaatteet Pdf- dokumentti. http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti_2.0_energiakatselmoijan_tyokalun_laskentaperiaatteet.pdf. Luettu 20.5.2016.
10. Future ilmakehäsäätelykone käyttö- ja huolto-ohje. Pdf – dokumentti. http://www.koja.fi/uploads/pdf/KH_FutureFIN.pdf. Luettu 15.5.2016.
11. Future ilmakehäsäätelykone käyttö- ja huolto-ohje. 6/2015. Pdf - dokumentti. http://www.koja.fi/uploads/materiaalipankki/pdf/Future-ilmakehäsäätelykone_2015-06-01_painoon.pdf. Luettu 15.5.2016.

12. Seppänen, Raimo, Kervinen, Martti, Parkkila, Irma, Karkela, Lea & Meriläinen, Pekka. MAOL-taulukot: matematiikka, fysiikka, kemia. Helsinki: Otava. 2006